

**Я. Г. ЛОЦКИНА**, аспирант ХНУРЭ, Харьков

## ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЯДРА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В статье проанализированы проблемы синтеза онтологической компоненты в составе интеллектуального ядра системы поддержки принятия решений, связанных с ликвидацией лесных пожаров. Изложен подход к разработке онтологической системы знаний о стратегии и тактике тушения лесных пожаров, лесной пирологии, а также о ресурсах для тушения, как совокупности трех предметных онтологий. Описан механизм реализации вывода на знаниях в среде онтологической системы. В основу подхода положена методология METHONTOLOGY.

**Ключевые слова:** лесные пожары, тактика и стратегия тушения, система поддержки принятия решений, интеллектуальное ядро, вывод на знаниях, онтология, онтологическая система.

**Постановка проблемы в общем виде.** В последние десятилетия практически во всех регионах мира наблюдается учащение антропогенных, техногенных и природных катастроф, в частности, крупных лесных пожаров (ЛП). Наличие указанной тенденции порождает ряд прикладных проблем, связанных с необходимостью повышения эффективности мероприятий по ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) путем разработки и внедрения новых информационных технологий решения задач на разных стадиях существования ЧС, возникших вследствие катастроф. Главная проблема состоит в преодолении сложности управления, когда необходим выбор из множества возможных решений. Вторая проблема связана с необходимостью постоянного уменьшения объема информации о текущем состоянии объекта принятия решений в условиях ЧС до того уровня, который действительно необходим лицу, принимающему решения (ЛПР), в соответствии с существующими ограничениями эргономического характера. Третья проблема возникает вследствие дефицита времени на принятие решения и координации решений различных ЛПР. Еще одна важная проблема интеллектуализации процессов, связанных с ликвидацией ЧС обусловлена необходимостью постоянного приобретения, сохранения и распределения знаний опытных руководителей, накопленных ими в процессе многолетней работы, включая при этом не только позитивный, но и негативный опыт решения задач в ходе ликвидации ЧС.

**Анализ последних исследований и публикаций. Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Решению перечисленных выше проблем в последние годы посвящено значительное количество отечественных и зарубежных публикаций [1–4]. Вместе с тем, реализация совокупности процессов, связанных с перманентным выявлением, извлечением и структу-

ризацией знаний опытных специалистов в области ликвидации различного рода ЧС, на данном этапе развития систем с искусственным интеллектом, требует разработки качественно новых подходов. Наиболее перспективным, по мнению исследователей, например Т.П. Левашовой, М.П. Пашкина, А.В. Смирнова, Н.Г. Шилова [1], является применение системы онтологий в качестве хранилища предметных знаний, а также реализация вывода на знаниях непосредственно внутри онтологической системы. Вместе с тем, на этой основе, до настоящего времени не разработана информационная технология синтеза систем поддержки принятия решений (СППР) в условиях ЧС.

**Цель исследования** состоит в изложении комплексного подхода, предполагающего разработку отдельных онтологий, объединении их в онтологическую систему и применении этой системы в качестве интеллектуального ядра СППР в условиях ЧС.

**Основные результаты исследования.** В последнее время в инженерии знаний применяется определение онтологии как формальной спецификации согласованной концептуализации [4]. Под согласованной концептуализацией подразумевается, что данная концептуализация не является частным мнением, а является общей для некоторой общности людей.

*Определение 1.* Онтологический инжиниринг – ветвь инженерии знаний, использующий онтологический подход для построения онтологий [5].

При этом любая онтология имеет под собой концептуализацию, но одна концептуализация может быть основой разных онтологий, и две разные базы знаний могут отражать одну онтологию.

Основными компонентами онтологии являются: классы или понятия; атрибуты; отношения; аксиомы; экземпляры [4].

*Определение 2.* Экземпляры онтологии представляют собой единичные сущности, принадлежащие классам онтологии.

Например, «Слабый низовой пожар». Единицы онтологии (классы и экземпляры) могут иметь свойства – атрибуты. Каждый атрибут обычно имеет имя и значение и используется для хранения информации, которая специфична для данной единицы. Например, для экземпляра «Слабый низовой пожар» типичным атрибутом является «Скорость распространения кромки пожара».

*Определение 3.* Отношения в онтологии представляют тип взаимодействия между понятиями предметной области.

Отношения формально определяются как подмножество произведения  $n$  множеств:  $R: E_1 \times E_2 \dots \times E_n$ . Пример бинарного отношения – отношение часть–целое. Различие между отношениями и атрибутами заключается в том, что отношения связывают между собой два класса, а атрибут описывает внутренние свойства объектов посредством конкретных значений. Примером бинарного отношения может служить пара Переносная мотопомпа – Пожарный рукав. В онтологиях, содержащих описание однозначно трактуемых

предметных областей, к которым, в частности, относится и самолетостроение, наиболее значимым является так называемое таксономическое отношение (также известное как отношение класс–подкласс, родовидовое отношение или «is a» отношение).

*Определение 4.* Аксиомы (правила вывода) используются, чтобы записать истинные по определению высказывания об отношениях между сущностями предметной области.

Аксиомы могут быть включены в онтологию для разных целей, например для определения комплексных ограничений на значения атрибутов, аргументы отношений, для проверки корректности информации, описанной в онтологии, или для вывода новой информации. Например, ЕСЛИ Ветер в зоне пожара слабый И Пожар низовой ТО Применять захлестывание.

*Определение 5.* Словарь (глоссарий) является онтологией с пустым множеством отношений [4].

Например, словарем в онтологии «Лесные пожары» может служить справочник по лесной пирологии.

Таксономия по своей природе является простейшей онтологией, которая строится, преимущественно, на отношениях типа класс–подкласс. Вместе с тем, для отражения мерономического аспекта в семантике связей между концептами предметной области (ПрО), для некоторых типов онтологий целесообразно использование отношения типа часть–целое. Например, при синтезе метаонтологии в составе онтологической системы, содержащей знания мире пожарной техники, такой тип отношений необходим для эксплицитного описания состава пожарного депо.

В ряде случаев, исходя из особенностей предметной области, в онтологиях должны быть предусмотрены ограничения на область значений свойств экземпляров. При этом для задания области значений свойств формируется ряд множеств, элементами которых являются целые числа или символы алфавита. Возможно также формирование указанных множеств из подмножества концептов онтологии (множества экземпляров данного класса, множества классов).

В целом, существует обратная зависимость между выразительной способностью любой конкретной онтологии, и сложностью ее структуры [5]. Указанное обстоятельство определяет необходимость использования минимально необходимого набора отношений (онтологических зависимостей), при соблюдении заданной адекватности онтологии по отношению к описываемой предметной области.

На практике, наиболее формализованные онтологии представляют собой логические теории, построенные на произвольных логических утверждениях о понятиях в рамках заданной системы аксиом. Для описания таких формальных онтологий применяются различные логики (дескриптивные логики, модальные логики, логика предикатов первого порядка) и различные языки описания онтологий DAML+OIL, OWL, CycL, Ontolingua [7].

В ПрО «Пожарное дело» имеет место однозначность трактовки понятий, а также отношений между ними. Исходя из этого, при разработке приложений в областях, непосредственно связанных с ликвидацией лесных пожаров, вполне допустимо ограничиться созданием так называемых легких онтологий (lightweight ontologies) [7].

Модели онтологий и онтологической системы поддержки принятия решений в условиях ЧС.

Формально, онтология состоит из таксономии терминов, определений терминов и правил их обработки [4].

*Определение 6.* Формальной моделью онтологии  $O$  является упорядоченная триада объектов:

$$O = \langle E, R, F \rangle, \quad (1)$$

где  $E$  – конечное множество концептов (понятий, терминов) предметной области, которую представляет онтология  $O$ ;

$R$  – конечное множество отношений между концептами (понятиями, терминами) заданной предметной области;

$F$  – конечное множество функций интерпретации (аксиоматизация), заданных на концептах и/или отношениях онтологии  $O$ .

Естественным ограничением, накладываемым на множество  $E$ , является его конечность и непустота. В соответствии с (1)  $R$  и  $F$  должны быть конечными множествами. Рассмотрим, однако, граничные случаи, связанные с пустотой.

Пусть  $R = 0$  и  $F = 0$ . Тогда онтология  $O$  трансформируется в простой словарь:

$$O = \langle E, \{ \}, \{ \} \rangle. \quad (2)$$

Такая вырожденная онтология может быть полезна для спецификации, пополнения и поддержки словарей ПО, но онтологии–словари имеют ограниченное использование, поскольку не вводят эксплицитно смысла терминов. В практике создания онтологий для решения задач в условиях ЧС, когда используемые термины принадлежат очень узкому словарю и их смыслы уже заранее хорошо согласованы в пределах определенного сообщества (например, специалистов в области гражданской обороны), такой подход является вполне оправданным.

Практика онтологического инжиниринга дает возможность построения модели расширяемой онтологии и исследования ее свойств [5]. Как показано в этой работе, модель расширяемой онтологии является достаточно мощной для спецификации процессов формирования пространств знаний о конкретной ПрО. Вместе с тем и эта модель является неполной в силу своей пассив-

ности даже там, где определены соответствующие процедурные интерпретации и введены специальные функции пополнения онтологии. Ведь единственной точкой управления активностью в такой модели является запрос на интерпретацию определенного концепта. Этот запрос выполняется всегда одинаково и инициирует запуск соответствующей процедуры. При этом собственно вывод ответа на запрос и/или поиск необходимой для этого информации остается вне модели и должен реализовываться другими средствами. Учитывая вышесказанное, а также необходимость эксплицитной спецификации процессов функционирования онтологии, введем в рассмотрение понятие онтологической системы.

*Определение 7.* Формальная модель онтологической системы  $S$  представляет собой триплет вида:

$$S = \langle q^{meta}, \{O^{pr}\}, M \rangle, \quad (3)$$

где  $q^{meta}$  – онтология верхнего уровня (метаонтология);

$\{O^{pr}\}$  – множество предметных онтологий и онтологий задач предметной области;

$M$  – модель машины вывода, ассоциированной с онтологической системой  $S$ .

Использование системы онтологий и специальной машины вывода с помощью описанной модели дает возможность решать различные задачи. Расширяя систему моделей  $\{O^{pr}\}$ , можно учитывать предпочтения пользователя, а изменяя модель машины вывода, вводить специализированные критерии релевантности получаемой в процессе поиска информации и формировать специальные репозитории накопленных данных, а также пополнять при необходимости используемые онтологии.

В состав представленной формулой (3) модели  $S$  входят следующие три онтологические компоненты:

Метаонтология «Техническое обеспечение тушения лесных пожаров».

Предметная онтология «Типы лесных пожаров».

Онтология задач «Методы тушения лесных пожаров».

Как указывалось выше, метаонтология  $q^{meta}$  оперирует общими концептами и отношениями, которые не зависят от конкретной предметной области. Концептами метауровня являются общие понятия, такие как «объект», «свойство», «значение» и т. д. Тогда на уровне метаонтологии  $q^{meta}$  мы получаем интенциональное описание свойств предметной онтологии и онтологии задач. Онтология метауровня, благодаря специфическим особенностям предметной области, является статической, что дает возможность обеспечить эффективный вывод на знаниях в процессе функционирования онтологической СППР.

Предметные онтологии  $\{O^{pr}\}$  содержат понятия, описывающие конкретную предметную область, отношения, семантически значимые для данной предметной области, и множество интерпретаций этих понятий и отношений (декларативных и процедурных). Понятия предметной области специфичны в каждой прикладной онтологии, но отношения – более универсальны. Поэтому, кроме отношения «is a» в качестве базиса обычно выделяют такие отношения модели предметной онтологии, как «part of», «kind of», «contained in», «member of», «see also» и некоторые другие [3].

Отношение «part of» определено на множестве концептов, является отношением принадлежности и показывает, что концепт может быть частью других концептов. Оно является отношением типа «часть–целое» и по свойствам близко к отношению «is a» и может быть задано соответствующими аксиомами. Аналогичным образом можно ввести и другие отношения типа «часть–целое».

Иначе обстоит дело с отношением «see also». Оно обладает другой семантикой и другими свойствами. Поэтому целесообразно вводить его не декларативно, а процедурно, подобно тому, как это делается, например, при определении новых типов в языках программирования, где поддерживаются абстрактные типы данных [7]. Ниже приведен соответствующий фрагмент записи на алгоритмическом языке высокого уровня C++:

```
X see_also Y:
see_also member_of Relation {
if ( ( X is_a Notion) & ( Y is_a Notion) & ( X see_also Y) )
if (Operation connected_with X)
Operation connected_with Y
};
```

Необходимо отметить, что отношение «see also» не удовлетворяет условию транзитивности. Если предположить, что  $(X1 \text{ see\_also } X2) \& (X2 \text{ see\_also } X3)$ , то можно считать, что  $(X1 \text{ see\_also } X3)$ . Однако по мере увеличения длины цепочки объектов, связанных данным отношением, справедливость транзитивного переноса свойства «connected with» падает. Поэтому в случае отношения «see also» мы имеем дело не с отношением частичного порядка (как, например, в случае отношения «is a»), а с отношением толерантности. Указанное ограничение может быть учтено при интерпретации конкретного отношения.

Анализ специфики предметной области «Принятие решений в ЧС» показывает, что введенный выше набор отношений является достаточным для начального описания соответствующих онтологий. Понятно, что этот базис является открытым и может пополняться в зависимости от предметной области и целей, стоящих перед прикладной системой, в которой такая онтология используется.

Онтология задач в качестве понятий содержит типы решаемых задач, а отношения этой онтологии, как правило, специфицируют декомпозицию задач на подзадачи. Вместе с тем, если прикладной системой решается единственный тип задач (например, задачи поиска релевантной запросу информации), то онтология задач может в данном случае описываться словарной моделью, рассмотренной выше. Таким образом, модель онтологической системы позволяет описывать необходимые для ее функционирования онтологии разных уровней.

Машина вывода онтологической системы в данном случае будет опираться на сетевое представление онтологий всех уровней. При этом ее функционирование будет связано:

- с активацией понятий и/или отношений, фиксирующих решаемую задачу (описание исходной ситуации);
- определением целевого состояния (ситуации);
- выводом на сети, заключающемся в том, что от узлов исходной ситуации распространяются волны активации, использующие свойства отношений, с ними связанных. Критерием останова процесса является достижение целевой ситуации или превышение длительности исполнения (time-out) [6].

Методологию и «жизненный цикл» создания онтологий обсудим на примере подхода METHONTOLOGY, разработанного Гомез-Перезом (Gomez-Perez) с коллегами, в рамках которого реализуются принципы Грубера, а также разработано программное окружение спецификации онтологий ODE (Ontology Design Environment) [4].

В рамках этого подхода выделяются следующие процедуры в «жизненном цикле» создания онтологии: управление проектом, собственно разработка и поддержка разработки.

Процедуры управления проектом включают планирование, контроль и гарантии качества. Планирование определяет, какие задачи должны быть выполнены, как они организуются, как много времени и какие ресурсы нужны для их выполнения. Контроль гарантирует, что запланированные задачи выполнены и именно так, как это предполагалось [4].

В соответствии с общепринятой технологией, разработка онтологической системы включает спецификацию, концептуализацию, формализацию и реализацию. Спецификация определяет цели создания онтологии, ее предполагаемое использование и потенциальных пользователей. Концептуализация обеспечивает структурирование предметных знаний в виде значимой эксплицитной модели. На этапе формализации происходит преобразование концептуальной модели в формальную или «вычислительную». Этап реализации предполагает программирование вычислительной модели на соответствующем языке представления знаний.

Процедуры поддержки, а именно приобретение знаний, оценка, интеграция, документирование и управление конфигурациями, выполняются одно-

временно с разработкой онтологической системы. Приобретение знаний аккумулирует знания в заданной предметной области. Оценка дает технические решения по оценке онтологии, соответствующего программного обеспечения и документации, как в процессе выполнения каждой фазы, так и между фазами. Интеграция требуется тогда, когда новая онтология создается с использованием уже существующих приложений. Документирование дает детальную, понятную и исчерпывающую информацию о каждой фазе и продукте в целом. Управление конфигурациями необходимо для архивации всех версий документации, программного обеспечения и кода онтологии, а также для контроля за изменениями, имеющими место в ходе разработки.

Общая схема «жизненного цикла» создания онтологий в рамках подхода METHONTOLOGY представлена на рис. 1.

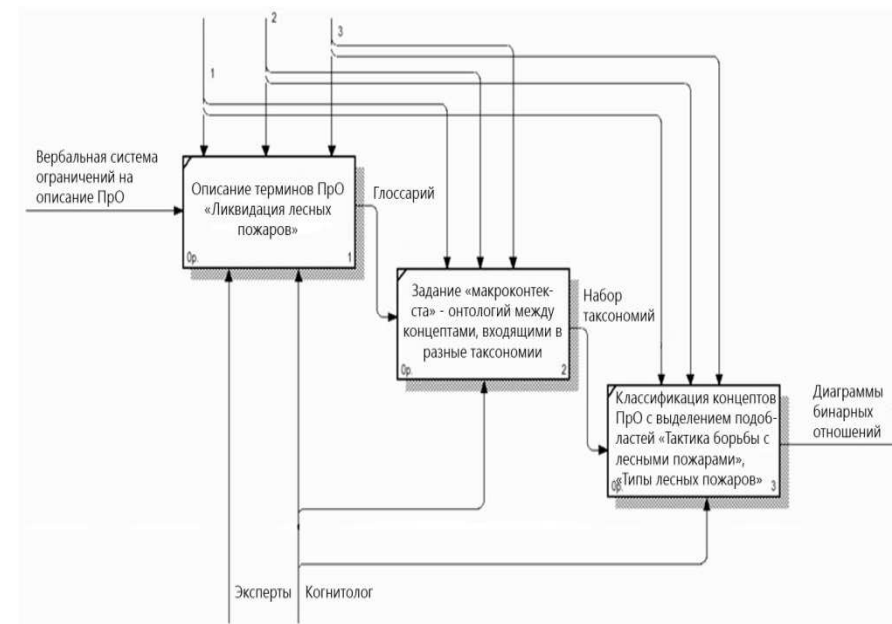


Рис. 1 – Разработка онтологической системы СППР по ликвидации ЛП (в рамках подхода METHONTOLOGY).

Процесс построения онтологии в рамках используемого подхода распадается на серию подпроцессов по созданию промежуточных представлений. При этом выполнение отдельных подпроцессов хотя и осуществляется последовательно, возможен итеративный режим, поскольку качество реализации всего процесса определяется полнотой и точностью уже накопленных знаний. В соответствии с рассматриваемой методологией, сначала строится глоссарий

терминов (Glossary of Terms), затем деревья классификации концептов (Concept Classification Trees) и диаграммы бинарных отношений (Binary Relations Diagrams). И только после этого – остальные промежуточные представления.

#### **Выводы.**

1. Применение онтологического подхода к созданию систем с искусственным интеллектом является перспективным с точки зрения повышения эффективности принятия решений в условиях ЧС, а также сохранения интеллектуального капитала специалистов в области ликвидации различного типа ЧС, в частности, ЛП.
2. Интеллектуальное ядро СППР ЛП целесообразно реализовывать в форме онтологических систем.
3. Специфика организации работ по ликвидации ЛП допускает возможность реализации онтологических систем в рамках технологии METHONTOLOGY.

**Список литературы:** 1. Левашова Т. В. Управление онтологиями / Т. В. Левашова, М. П. Пашкин, А. В. Смирнов, Н. Г. Шилов // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2003. – № 5. – С. 89–101. 2. Gomez-Perez A. From Knowledge based Systems to Knowledge Sharing Technology: Evaluation and Assessment / A. Gomez-Perez // Technical Report of Knowledge Systems Laboratory. KSL-94-73. – Stanford University, CA. – 1994. – P. 519–529. 3. Смирнов А. В. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации / А. В. Смирнов, М. П. Пашкин, Н. Г. Шилов // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – № 1. С. 3–13. 4. Gruber T. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing / T. Gruber // JHCS. – 1994. – Vol. 43. – № 5/6 – P. 907 – 928. 5. Sowa J. Building, Sharing, and Merging Ontologies / J. Sowa // Режим доступа: <http://www.ifsowa.com/ontology/ontoshar.html>. 6. McGregor R. Tools for Assembling and Managing Scalable Knowledge Bases / R. McGregor, R. S Patil. // Режим доступа: <http://www.isi.edu/isd/-OntoLoom.hpkb>. 7. Ushold M. Ontologies: Principles, Methods, and Applications gent Intelligence through Data Mining / M. Ushold, M. Gruninger // Knowledge Engineering Review. – 1996. – Vol. 11. – № 2. – P. 93–155.

**Bibliography (transliterated):** 1. Levashova, T. V., et al. "Upravlenie ontologiyami." *Izv. RAN. Ser.: Teoriya i sistemy upravleniya*: No. 5. 2003. 89–101. Print. 2. Gomez-Perez, A. "From Knowledge based Systems to Knowledge Sharing Technology: Evaluation and Assessment" *Technical Report of Knowledge Systems Laboratory*. KSL-94-73. Stanford University, CA. 1994. 519–529. Print. 3. Smirnov, A. V., M. P. Pashkin and N. G. Shilov. "Ontologii v sistemah iskusstvennogo intellekta: sposobyi postroeniya i organizatsii" *Novosti iskusstvennogo intellekta*. No. 1. 2002. 3–13. Print. 4. Gruber, T. "Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing." *JHCS*. Vol. 43. No 5/6. 1994. 907–928. Print. 5. Sowa, J. "Building, Sharing, and Merging Ontologies." <<http://www.ifsowa.com/ontology/ontoshar.html>>. 6. McGregor, R., and R. S. Patil. "Tools for Assembling and Managing Scalable Knowledge Bases." <<http://www.isi.edu/isd/-OntoLoom.hpkb>>. 7. Ushold, M., and M. Gruninger. "Ontologies: Principles, Methods, and Applications gent Intelligence through Data Mining." *Knowledge Engineering Review*. Vol. 11. No 2. 1996. 93–155. Print.

*Поступила (received) 05.12.2014*